from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

Wie sind aus geologischen Polverschiebungen erwachsende Wärmeänderungen zu bestimmen?

Von

Bergrat Fritz Kerner v. Marilaun

k. M. K. Akad.

(Vorgelegt in der Sitzung am 8. März 1917)

Diese Frage scheinen sich die Freunde der Polverschiebungshypothese noch gar nicht gestellt zu haben; sie erheischt aber ihre besondere Beantwortung, sollen Änderungen in der Lage der Erdpole als Lösungsmittel für palaeothermale Rätsel in Betracht kommen, denn von einem solchen Mittel ist zu verlangen, daß sich seine Wirkung genau angeben läßt; dieser Forderung wird die Polverschiebungshypothese aber nicht gerecht. Die Wärmegrade, welche in früheren Perioden an bestimmten Stellen der Erdoberfläche (im Meeresniveau) geherrscht haben mögen, erfährt man allerdings aus keiner der vielen Klimahypothesen, da sich der thermische Einfluß der geänderten Land- und Wasserverteilung nicht genau abschätzen läßt. Die besser gebauten unter jenen Hypothesen gestatten es aber doch, jene Temperaturabweichung von der Jetztzeit ziffermäßig auszudrücken, welche die supponierte Änderung des Solarklimas bei der heutigen Festlandsverteilung nach sich zöge. Die eingangs genannte Hypothese versagt aber auch in diesem Falle, da sich bei einer Polverschiebung auch bei gleichbleibender Konfiguration der Erdoberfläche die terrestrische Komponente des thermischen Klimas ändert.

Die Vertreter der Polverschiebungshypothese scheinen zu glauben, daß es ausreiche, die durch Versetzung eines Ortes in eine andere Breite bedingte Wärmeänderung auf

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

demselben entweder der zwischen der alten und neuen Breite im Meridian der Polverschiebung bestehenden Temperaturdifferenz oder dem mittleren Wärmeunterschiede der betreffenden zwei Parallelkreise zu vergleichen. Eine nähere Betrachtung ergibt aber, daß sich die besagte Aufgabe meist überhaupt nicht exakt lösen läßt, daß es zu ihrer angenäherten Lösung verschiedene Mittel gibt und daß von diesen bald das eine, bald das andere als das passendere in Betracht kommt.

I. Bestimmung der Wärmeänderungen bei zonaler Anordnung von Land und Meer.

Was zunächst den einfachen Fall einer streng zonalen Land- und Wasserverteilung betrifft, so kann man die durch eine Polverschiebung bedingte Wärmeänderung eines Ortes nur dann dem Temperaturunterschiede zwischen der gegebenen und nachmaligen Ortsbreite gleichsetzen, wenn die Anordnung der land- oder meerbedeckten Kugelkappen und Kugelzonen eine solche ist, daß der Parallelkreis, welcher nach der Lageänderung des Poles durch den betrachteten Ort geht, dieselbe Bedeckungsart zeigt, wie der bei noch unverrücktem Pole in der nachmaligen Ortsbreite um die Erde gelegte Kreis. Für einen auf einer Kugelkappe von bestimmter Bedeckungsart gelegenen Ort bleibt diese Bedingung nur erfüllt, solange die Breitenerstreckung der Kappe nicht kleiner ist als der ursprüngliche Polabstand des Ortes, vermehrt um den doppelten Betrag der Polverschiebung. Der Betrag, um den andernfalls die Differenz zwischen der zuerst und der nach der Achsenverlagerung in der Breite des Ortes herrschenden Temperatur größer oder kleiner ist als der bei noch unverrücktem Pole vorhandene Wärmeunterschied zwischen der gegebenen und der nachmaligen Ortsbreite, läßt sich leicht auf analytisch geometrischem Wege finden.

Wenn z. B. auf einer landbedeckten Polarkalotte ein Ort am 80. Parallelkreis läge und durch eine in seinem Meridian erfolgende Polverschiebung auf 70° Breite herabrückte, so käme er auf einen Parallel mit 45·2 % Wasserbedeckung zu

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

liegen. Die Temperatur eines solchen Parallels wäre (die Zenker'schen Zahlen für die Temperatur auf einer Land- und Wasserhemisphäre angenommen) —12·8°, also um 6·2° mehr als die eines landbedeckten 70. Parallels. Für einen auf derselben Calotte im gleichen Meridian in 70° Breite liegenden Ort ergäbe sich dagegen bei derselben Polverschiebung die Versetzung auf einen Parallel mit 23·5% Landbedeckung und auf einem solchen würde eine um 1·9° niedrigere Temperatur herrschen als auf einem wasserbedeckten 60. Parallel.

Bei einer Verlagerung der Erdachse um 20° käme der Pol einer landbedeckten Polarkappe auf einen Parallel mit 59·4% Meeresbedeckung zu liegen, dessen Temperatur um 8·2° höher wäre als die vor der Polwanderung in 70° anzunehmende Temperatur. Ein im Meridian dieser Achsenverlagerung in 10° Polabstand befindlicher Punkt würde dagegen gleichzeitig auf einen zu 14·6% mit Land bedeckten 60. Parallel gelangen, dessen Temperatur um 1·2° tiefer wäre als die vorher in 60° Breite vorhandene Temperatur von 0·3°.

Um die Temperaturen zu erfahren, welche an den gedachten Orten nach den angenommenen Polverschiebungen herrschen würden, muß man die Mitteltemperaturen der landbedeckten Bogenstücke jener Breitenkreise suchen, auf welche die Orte nach jenen Verschiebungen zu liegen kämen. Diese Temperaturen sind, da es sich um hohe Breiten handelt, tiefer als die eben mitgeteilten Durchschnittstemperaturen jener Parallelkreise. Was zunächst den 60. Parallel betrifft, so findet man da als Mitteltemperatur für das 21·5% des Erdumfanges messende Amerika —1·8 und für das sich über 40·5% des Erdumfanges erstreckende Eurasien —2·6. Nimmt man die von Zenker für den 60. Parallel gefundenen Temperaturwerte von 0·3 für $n = 0$ und von —7·7 für $n = 1$, so ergeben sich als Wärmeunterschiede zwischen einem wasserbedeckten Parallel und landbedeckten Bogenstücken von der Erstreckung 21·5, 40·5 und 100% die Werte —2·1, —2·9 und —8·0. Dies würde darauf hindeuten, daß die landbedeckten Bogenstücke nur in dem Maße, als sie an Länge zunehmen, kälter werden, also in dem Maße, wie die ganzen Parallelkreise bei entsprechender Zunahme ihrer Landbedeckung, womit sich

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

dann auch dieselbe Wärmeabnahme für die wasserbedeckten Bogenstücke ergäbe.

Bei Zugrundelegung der von Liznar für den 60. Parallel berechneten Temperaturen, $-0{\cdot}7$ für $n=0$ und $-7{\cdot}5$ für $n=1$ bekäme man sogar eine anfänglich noch langsamere Kältezunahme, indem dann die besagten Wärmeunterschiede $-1{\cdot}1$, $-1{\cdot}9$ und $-6{\cdot}8$ betragen würden. Auch die Wärmedifferenzen, welche man auf Grund der von de Marchi für $\tau=60°$ abgeleiteten thermischen Grenzwerte $0{\cdot}5$ und $-9{\cdot}1$ erhält, nämlich $-2{\cdot}3$, $-3{\cdot}1$ und $-10{\cdot}6$, würden sich in eine zur Abszissenachse schwach konvexe Kurve ausgleichen.

Zieht man dagegen die von Spitaler für den 60. Parallel für $n=0$ erhaltenen Temperaturwerte von $2{\cdot}8$ und $4{\cdot}1$ und für $n=1$ erhaltenen Werte von $-6{\cdot}8$ und $-7{\cdot}2$ in Betracht, so bekommt man für die vorgenannten Wärmeunterschiede die Zahlen $-4{\cdot}6$, $-5{\cdot}4$ und $-9{\cdot}6$ beziehungsweise $-5{\cdot}9$, $-6{\cdot}7$ und $-11{\cdot}3$. Hiernach wäre zu schließen, daß die Wärmeabnahme der landbedeckten Bogenstücke in geometrischer Progression erfolge, und zwar nähern sich die erhaltenen Differenzen jenen, die einer der Quadratwurzel von n proportionalen Abnahme entsprächen. ($-4{\cdot}5$ und $-6{\cdot}1$ beziehungsweise $-5{\cdot}3$ und $-7{\cdot}2$) Eine solche Abnahme ist von vornherein und auch mit Rücksicht auf die Verhältnisse auf den Nachbarparallelen wahrscheinlicher als eine solche in arithmetischer Progression. Die Mitteltemperaturen Amerikas und Eurasiens in 60° Breite sind auffallend hoch im Vergleich zu den für einen landbedeckten 60. Parallel berechneten Kältegraden, wogegen die Temperaturminima an den Ostseiten beider Kontinente diesen rein kontinentalen Temperaturen nahe kommen. Die Mitteltemperatur der wasserbedeckten Bogenstücke vermindert sich, wenn jene der landbedeckten im Verhältnisse zu $\sqrt{n}$ abnimmt, proportional dem Ausdruck $n:(1+\sqrt{n})$.

Für die bei den vorhin angesetzten Polverschiebungen auf dem 60. Parallel eintretenden Landbedeckungen von $23{\cdot}5$ und $14{\cdot}6\,\%$ erhält man — eine zu n proportionale Wärmeabnahme vorausgesetzt — bei Zugrundelegung des Durchschnittes der Werte von Zenker und Liznar $-1{\cdot}9$ und

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

— 1·3 und — eine zu $\sqrt{n}$ proportionale Temperaturverminderung angenommen — auf Grund der Werte von Spitaler (Formel III) — 1·9 und — 0·9 als Mitteltemperaturen.

Diese Mitteltemperaturen der landbedeckten Bogenstücke können zugleich als Temperaturen ihrer im Meridian der gedachten Polverschiebungen liegenden Halbierungspunkte gelten, da sich am 60. Parallel — wie ein Blick auf die Karte der Jahresisothermen zeigt — sowohl in Amerika als auch in Eurasien die Mitteltemperatur des Kontinents fast in genau gleich großem Abstande von der West- und Ostküste einstellt. (In Amerika in 117° W. v. G., in Asien in 80° E. v. G.)

Am 70. Breitenkreise hat Amerika — in mehrere Landmassen zerstückt — bei einer Erstreckung über 17·5% des Erdumfanges eine Mitteltemperatur von — 13·8, Asien bei Einnahme eines Viertels des Erdkreises eine Mitteltemperatur von — 14·3. Die von Zenker, Liznar und de Marchi für einen ozeanischen 70. Parallel berechneten Kältegrade liegen zwischen — 5·2 und — 7·6, die für einen kontinentalen zwischen — 18·9 und — 19·7. Die aus den Formeln von Spitaler sich ergebenden thermischen Grenzwerte sind — 1·8 und — 0·2 für $n = 0$ und — 16·6 und — 17·5 für $n = 1$. Am 70. Parallel nimmt demnach die Temperatur der landbedeckten Bogenstücke viel rascher ab als ihre Länge wächst.

Bestimmt man mittels der von den drei ersteren Autoren berechneten Zahlenwerte die Wärmedifferenzen zwischen einem wasserbedeckten Parallel und landbedeckten Bogenstücken von 17·5, 25 und 100%, so erhält man im Durchschnitte der ersten beiden Reihen — 7·2, — 7·7 und — 12·6 und im Mittel aller dreier — 7·4, — 7·9 und — 12·9, also Temperaturabnahmen, welche einer zu $\sqrt[3]{n}$ proportionalen Abnahme nahe kommen. (— 7·0 und — 7·9 beziehungsweise — 7·2 und — 8·1) Nach Spitaler bekommt man aber, da sich wegen seiner hohen Werte für einen ozeanischen Parallel die Temperaturen Amerikas und Asiens in $\varphi = 70°$ schon der rein kontinentalen Temperatur dieser Breite nähern, eine zu $\sqrt[7]{n}$ und $\sqrt[8]{n}$ proportionale Kältezunahme der landbedeckten Bögen.

Für die bei den vorhin angesetzten Polverschiebungen auf dem 70. Parallel verbleibenden Landbedeckungen von

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

54·8 und 40·6 % bekommt man unter der Voraussetzung einer zu $\sqrt[3]{n}$ proportionalen Wärmeabnahme mit dem Durchschnitte der Werte Zenker's und Liznar's —17·0 und —16·0 und bei Annahme einer zu $\sqrt[8]{n}$ proportionalen Temperaturverminderung mit Spitaler's Zahlenwerten —16·3 und —15·6 als Mitteltemperaturen. In Asien tritt auch am 70. Breitenkreise die Mitteltemperatur des Kontinents ziemlich genau in dessen Mitte ein. In Amerika fällt sie auf einen der Ostküste etwas näheren Meridian, doch wird man auch in dem hier in Betracht gezogenen Falle die gewonnenen Mitteltemperaturen der landbedeckten Bogenstücke zugleich als Temperaturen ihrer Halbierungspunkte nehmen können.

Sind die so gewonnenen Ortstemperaturen in 70° Breite auch um vieles tiefer als die früher angeführten Mitteltemperaturen für Breitenkreise mit gemischter Bedeckung, so liegen sie doch noch um mehrere Grade über der Temperatur eines kontinentalen 70. Parallels. Das Ergebnis der bisherigen Betrachtung ist demnach, daß es schon im einfachen Falle einer streng zonalen Land- und Meerverteilung nicht allgemein zulässig wäre, die durch eine Polverschiebung auf einem in ihrem Meridiankreise gelegenen Punkte bedingte Wärmeänderung dem vor der Verschiebung zwischen der gegebenen und nachmaligen Ortsbreite bestehenden zonalen Temperaturunterschiede gleichzusetzen.

II. Bestimmung der Wärmeänderungen infolge der durch Verschiebung der geographischen Koordinaten bedingten Umgestaltung des Erdbildes.

Zur Abschätzung der thermischen Wirkungen einer Polverschiebung bei unregelmäßiger Verteilung von Land und Meer kann man sich für die höchsten Breiten jener Gleichungen bedienen, die ich bei meiner Untersuchung über die morphogene Komponente des arktischen Tertiärklimas entwickelt habe.[1] Jene Gleichungen stellen die Jännertemperatur

[1] Klimatogenetische Betrachtungen zu W. D. Matthews »Hypothetical outlines of the continents in tertiary times. Verhandl. d. k. k. Geolog. Reichsanstalt 1910, Nr. 12.

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

auf jedem beliebigen zehnten Meridian in 85°, 80° und 75° Nordbreite als Funktion der Lage dieses Meridianes zu den gegen das Weltmeer offenen Teilen des 70. Parallelkreises dar, und zwar in der Art, daß jedes zehn Längengrade breite offene Bogenstück desselben in mit wachsendem Meridianabstande abnehmendem Maße als Wärmequelle zur Geltung kommt. Faßt man beispielsweise den Meridian 60° W. v. G. ins Auge, so stellt sich für die Erwärmung auf dem arktischen Teile desselben die Meeresstraße zwischen Grönland und Norwegen als Summe von vier in 45, 55, 65 und 75° mittlerem Abstande von diesem Meridian gelegenen offenen Bogenstücken dar. Der Umstand, daß diese Pforte nicht in ihrer ganzen Breite als Wärmequelle wirkt, ist durch entsprechend kleinere Konstantenwerte ausgeglichen.

Für den Schnittpunkt des besagten Meridianes mit dem 85. Parallel erhält man mittels der von mir bestimmten Werte der Konstanten als Jännertemperatur −33·9, für den Schnittpunkt jenes Längengrades mit dem 75. Parallel −27·1. Fände eine Verschiebung des Nordpols um 10° im Meridiane 120 E. v. G. statt, durch welche der erste der beiden vorgenannten Schnittpunkte in die Position des zweiten käme, so empfinge er von vier in mittleren Meridianabständen von 25... bis 55° gelegenen offenen Bogenstücken seine Wärme. Es würde nach der besagten Polverschiebung an Stelle der in einem Meridianabstande von 40° beginnenden, 40° breiten Lücke zwischen Scoresby Sund und Tromsö ein etwa ebenso breites Stück eines schon in 20° Meridianabstand beginnenden, von Lamberts Land über die Bäreninsel zur Insel Kolgujew sich spannenden Bogens die Rolle des gegen das Weltmeer offenen Teiles des 70. Parallelkreises spielen. Bei dieser Sachlage bekäme man für den Schnittpunkt von $\lambda = 60$ W. v. G. und $\varphi = 75°$ eine Jännertemperatur von −18·7, um 8·4° mehr als sich für diesen Koordinatenschnittpunkt jetzt ergibt (−27·1).

Verändert man den einen konstanten Faktor in meiner Formel so, daß sie für den genannten Punkt unter den jetzigen Verhältnissen genau die beobachtete, d. h. die von Spitaler aus v. Hann's Isothermenkarte abgelesene Temperatur von −29·7 wiedergibt, so erhielte man bei Annahme der gedachten

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

Polverlagerung für jenen Schnittpunkt eine die jetzige um 6·1 übersteigende Temperatur. Rückte demnach die jetzt an der Kreuzung des 60. Meridians W. mit dem 85. Parallel gelegene Meeresstelle nördlich vom Robeson-Kanal in eine um 10° südlichere Breite, so würde sich auf ihr nicht die jetzt in der Melville Bay herrschende, sondern eine viel weniger tiefe Wintertemperatur einstellen.

Nimmt man, ein anderes Beispiel wählend, eine Polverlagerung um 10° im Meridian 120° W. v. G. an, so bekommt man nach meiner Formel als Jännertemperatur auf dem jetzt durch die Koordinaten $\lambda = 60°$ E. v. G., $\varphi = 85°$ bestimmten Punkte —15·0, während derzeit auf der um 10 Breitengrade südlicher gelegenen Erdstelle eine Jännertemperatur von —23·3, nach meiner Formel berechnet von —22·9 herrscht. Während für diesen letzteren, nahe dem Fernkap auf der Ostseite von Nowaya Zemlja gelegenen Punkt die wieder durch die Meeresstraße zwischen Grönland und Nordnorwegen gebildete Wärmequelle in weitem westlichen Meridianabstande liegt, käme für den nach der gedachten Polverschiebung in die Position dieses Ortes rückenden Punkt nördlich von Petermanns Land ein von der Sabine-Insel über Mittelspitzbergen zu den Südküsten von Franz-Josefs-Land sich spannender Bogen, welcher bis nahe an den Meridian des betrachteten Ortes reichte, als Wärmequelle in Betracht. In diesem Falle wäre also der Wärmezuwachs infolge einer Breitenabnahme von 10° auch viel größer als die jetzt auf diesem Breitenintervalle stattfindende Temperaturzunahme.

Faßt man dagegen den Fall einer Polverlagerung ins Auge, durch welche die auf dem Nullmeridian gelegenen Punkte des Nordmeeres in eine um 10° niedrigere Breite rückten, so würde der Schnittpunkt von $\lambda = 0$ und $\varphi = 75°$, entsprechend der heute in 5° Polabstand auf dem Nullmeridian gelegenen Meeresstelle, thermisch weniger begünstigt sein als jetzt und eine Jännertemperatur von etwa 14° oder —15° erhalten, während er jetzt eine solche von —11·3° hat.

Wie schon oben gesagt wurde, kann man hier mittels meiner Formeln nur zu Schätzungen gelangen. Die Bedeutung von Berechnungen käme den hier gewonnenen Zahlenwerten

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

nur dann zu, wenn die thermische Wirkung eines 10 Längengrade breiten, gegen das Weltmeer offenen und in bestimmtem mittleren Meridianabstande von einem betrachteten Punkt gelegenen Bogenstückes des 70. Parallels von der Konfiguration des Nordatlantik unabhängig wäre. Diese Voraussetzung trifft aber keinesfalls zu. Jede Änderung der Lagebeziehung der Umrißlinien des genannten Ozeans zu den Meridianen und Breitenkreisen könnte jene Wärmewirkung etwas ändern. Es würden sich schon in der Ursprungsregion der nordatlantischen Strömungen die Verhältnisse umgestalten können. So würde beispielsweise die zuletzt genannte Polverschiebung im Gefolge haben, daß die Golftrift jenes Bruchteiles von erwärmender Kraft verlustig ginge, der ihr aus einer Verstärkung des Antillenstromes durch den Floridastrom erwächst. Denn eine in nur 14° Gleicherabstand gelegene Floridastraße könnte nicht als Austrittsort für eine in den mexikanischen Golf hineingepreßte Passattrift in Frage kommen. Es wäre eher zu vermuten, daß sie auch noch als Eintrittsstelle für Triftwasser benützt würde, das in der äquatorialen Gegenströmung aus dem genannten Golfe hinausgelangte.

Für jenen Zweck, für welchen meine Formeln aufgestellt wurden, vermochten sie dagegen thermische Werte nicht bloß schätzungsweise, sondern in bestimmter Größe zu liefern. Es war da aber die Fragestellung eine andere. Es sollte da ermittelt werden, welche Temperaturerhöhungen in der Arktis infolge einer Vermehrung der Lücken des subpolaren Festlandsringes platzgreifen würden, unter der Voraussetzung, daß die erwärmende Kraft der gegen das Weltmeer offenen Bogenstücke des 70. Parallels der heute zu beobachtenden analog wäre.

Die Fehler der vorhin für verschobene hocharktische Meeresstellen erhaltenen Jännertemperaturen sind aber sicher kleiner als die Differenzen zwischen diesen Temperaturen und jenen Kältegraden, welche an den von den besagten Stellen nach ihrer Verschiebung eingenommenen Koordinatenschnittpunkten jetzt herrschen, weil sich bei diesen Verschiebungen die Golftrifttemperaturen in 70° Breite doch nur wenig ändern dürften. Man kommt so zum Ergebnisse,

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

daß der thermische Effekt einer Polverlagerung für Punkte innerhalb der Arktis von dem jetzt im Meridiankreise dieser Verlagerung herrschenden Temperaturunterschiede zwischen der gegebenen und verschollenen Ortsbreite um mehr als $\pm 5°$ abweichen könnte.

Für die peripheren Teile der Arktis und für die subarktische Zone liegen noch keine Formeln vor, welche die Temperatur eines beliebigen Punktes als Funktion der Land- und Wasserverteilung in seiner Umgebung darstellen würden. Um die Wärmeänderungen zu bestimmen, welche in Polnähe liegende Orte durch Achsenverlagerungen von größerem Ausschlage und Orte in der Randzone des Polargebietes durch mäßige Polverschiebungen erführen, muß man daher für jeden supponierten Fall eine besondere Betrachtung anstellen. Zunächst handelt es sich dabei um die Kenntnis jener geographischen Verhältnisse, welche nach der gedachten Polverschiebung entlang dem Meridianbogenstücke zwischen der jetzigen und der nachmaligen Breite des betrachteten Ortes herrschen würden, beziehungsweise um die Kenntnis der Verhältnisse, welche jetzt entlang dem an dieses Bogenstück sich nord- oder südwärts anschließenden Meridianteilstücke herrschen. Es ist hier hauptsächlich zu unterscheiden, ob dieser Meridianbogen Land, von warmen Strömungen unbeeinflußte polare oder subpolare Meeresflächen, Binnenmeere mittlerer oder niedriger Breiten, pleiobarische Ozeangebiete oder Meeresströmungen durchschneidet. Die geographischen Verhältnisse werden entweder von derselben Art oder von anderer Art sein, als in der Nachbarzone.

Was nun die durch eine gedachte Polverschiebung bedingte Temperaturänderung betrifft, so wird dieselbe bei Gleichheit der geographischen Verhältnisse in den zwei benachbarten Breitenintervallen dem jetzt zwischen der alten und neuen Breite (im Meridian der Verschiebung) vorhandenen Wärmeunterschiede im Allgemeinen nur dann gleich sein, wenn die zonale Temperaturänderung in beiden Intervallen gleich groß ist. Wenn dies nicht der Fall ist, so wird es sich, auch wenn beide Nachbarintervalle land- oder wasserbedeckt

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

sind, betreffs der Wärmeänderung anders verhalten. Wenn z. B. der betrachtete Ort auf einem Kontinente in jener Breite liegt, wo die in dessen Randgebiet vorhandene Zusammendrängung der Isothermen dem in seinem Innern vorhandenen Auseinandertreten der Isothermen weicht, so wird sich seine Temperatur bei einer Polverschiebung, durch welche der Parallel des Ortes weiter in den Kontinent hineinrückt, weniger ändern und bei einer Polverschiebung, bei der der Ortsparallel gegen die Küste zu hinausrückt, mehr ändern als sich die Temperatur jetzt zwischen der vor und nach der Polverschiebung gegebenen Position des Ortes ändert. Im ersteren Falle verhält es sich so, daß in das Intervall zwischen der ursprünglichen und der verschobenen Ortsbreite zuerst die Zone der zusammengedrängten Isothermen und nach der Polverschiebung die Zone der auseinanderstehenden Isothermen zu liegen kommt, im letzteren Falle verhält es sich umgekehrt.

Wenn die Bedeckungsart in jenem Breitenintervalle, welches nach der Polverschiebung in das Intervall zwischen der ursprünglichen und der verschobenen Breite des betrachteten Ortes rückt, von der jetzt in jenem Intervalle vorhandenen Bedeckungsart verschieden ist, wie dies der Fall, wenn der Ort an einer W—E streichenden Küste liegt, so kann die durch die Polverschiebung bedingte Wärmeänderung von dem jetzigen Temperaturunterschiede zwischen der gegebenen und verschobenen Position des Ortes sehr abweichen.

In besonders hohem Maße ist dies möglich, wenn das Meridianbogenstück zwischen der alten und neuen Breite von einer W—E streichenden Landbrücke gequert wird. Falls der betrachtete Ort an der Südküste dieser Brücke liegt, wird seine Temperatur beim Hinaufrücken in die jetzt von der Nordküste eingenommene Breite viel weniger abnehmen, als jetzt die Temperatur polwärts quer durch die Landbrücke abnimmt und bei einer Lage des betrachteten Ortes an der Nordküste der Brücke und Südwärtsverschiebung desselben um die Brückenbreite wird die Wärmezunahme an jenem Orte viel geringer sein als die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Brückenrändern.

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

Zur Bestimmung jener Temperatur, die nach einer Polverschiebung auf einem im Meridiankreise derselben gelegenen Punkte eintreten würde, wenn dann die Wärmeänderung zwischen der jetzigen und nachmaligen Ortsbreite ganz anders als jetzt stattfände, kann man zwei Wege wählen. Man kann die Temperaturen suchen, die sich in der nachmaligen Ortsbreite auf solchen Meridianen finden, wo die besagte Wärmeänderung schon jetzt so erfolgt, wie sie sich im Meridiane des betrachteten Punktes nach der Polverlagerung vollzöge, und man kann die fragliche Wärmeänderung aus jener auf dem in der Polverschiebungsrichtung sich anschließenden Bogenstücke des Ortsmeridians durch Extrapolation ermitteln. Diese Bestimmungsart wird aber nur dann einen sicheren Wert ergeben, wenn das zu ergänzende Stück der Wärmekurve dem bekannten Teile derselben an Länge um ein mehrfaches nachsteht.

Bei der Ungleichartigkeit der Wärmeänderung auf den in die verschiedenen Erdgürtel fallenden Teilstücken der Meridianquadranten wird sich aber meist nur ein verhältnismäßig kurzer Teil der meridionalen Temperaturkurve jeweils naturgemäß ergänzen lassen. Es wird sich so darum handeln, das Kurvenstück, welches zur Ableitung der Extrapolationsformel dienen soll, so zu wählen, daß es bei im Vergleich zum zu ergänzenden Stücke möglichst großer Länge eine möglichst einfache Gestalt zeigt. Einige Beispiele mögen das eben Gesagte erläutern.

Um zunächst auf den erwähnten Fall zurückzugreifen, daß der betrachtete Punkt in der Übergangszone des Randgebietes in das Innere eines Kontinents liegt, sei für den Schnittpunkt von $\varphi = 65°$ und $\lambda = 60$ E. v. G. eine Annäherung an den Pol um 5° in ihrer thermischen Wirkung auf die Juliwärme untersucht. Nach v. Hann's Isothermenkarten hat jener Punkt eine reduzierte Julitemperatur von 16·0°, der um fünf Breitengrade weiter nordwärts an der Küste gelegene Punkt eine solche von 3·9°, der um 5° südlicher gelegene eine solche von 18·0°. Der besagte Punkt liegt also an einer scharfen Knickung der zonalen Wärmekurve, in jener Breite, wo die schwache sommerliche Temperaturabnahme gegen

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

Nord im Innern eines subarktischen Kontinents in den raschen Temperaturabfall gegen die Eismeerküste zu übergeht.

Will man zur Ermittlung jener Juliisotherme, auf die der besagte Punkt bei einer Polannäherung um 5° zu liegen käme, den ersten der genannten beiden Wege wählen, so führt derselbe gegen Ost, wo man in jenem Teile von Nordasien, wo der rasche Temperaturabfall zur Eismeerküste erst jenseits des 70. Parallels beginnt, auf diesem eine Juliwärme von 13·5 bis 13·7 antrifft. Die Küste streicht dort erst in 77° und dann in etwa 73° Breite. Die Sommerisothermen zeigen dementsprechend ein Absinken gegen Ost. Da, wo die Küste plötzlich ihre Breitenlage wechselt und sich so Temperaturverhältnisse einstellen, die einer Mittellage der Küste am 75. Parallelkreise entsprächen, schneidet dieser Kreis die Juliisotherme von 4·0 (An der Mündung der Katangabucht in 114° E. v. G.). Der rasche Temperaturabfall erstreckt sich demnach auch da über ein fünf Breitengrade breites Randgebiet des Kontinents, ist aber etwas kleiner (9·6) als auf dem 60. Meridian (12·1).

Wählt man zur Ermittlung der gesuchten Temperatur den zweiten der genannten Wege, so findet man, sich auf dem 60. Längengrade E. v. G. gegen Süden wendend, als reduzierte Julitemperaturen in um 5° wachsenden Entfernungen vom 65. Parallel die Werte: 18·0, 20·4, 23·6, 25·7, 30·6 und 34·0. Vom 65. bis zum 50. Parallel folgt da der Wärmeanstieg einer einfachen Exponentiallinie, und da dieses Meridianbogenstück schon dreimal so groß wie die gedachte Polverschiebung ist, wird man die auf ihm stattfindende Wärmeänderung zur Ableitung der Extrapolationsformel benutzen. Man erhält als einfachste (natürlich nur von $\varphi = 50°$ bis $\varphi = 70°$) geltende Ausdrücke: $t = 65{\cdot}56 - 54{\cdot}88 \sin \varphi$ und $t = 41{\cdot}98 - 31{\cdot}78 \sin^2 \varphi$, die beide von $\varphi = 50°$ bis $\varphi = 65°$ die beobachteten Werte mit Fehlern von 0·0 bis 0·2 wiedergeben und hieraus für $\varphi = 70°$ die Werte 14·0 und 13·9. Dieselben stimmen mit dem auf die vorige Art gefundenen (13·6) gut überein.

Auf der jetzt in $\varphi = 65°$ und $\lambda = 60°$ E. v. G. gelegenen Erdstelle würde so bei einer Polannäherung um 5° die Juli-

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

Temperatur nur um 2° abnehmen, während sie jetzt gegen den um 5° nördlicher gelegenen Punkt hin um 12° sinkt. Der reelle Wärmeunterschied wäre allerdings nur etwa halb so groß, weil der erstere Punkt in das Bergland nördlich vom Töll-pos-is zu liegen kommt, der letztere aber auf die niedrige Wajgat-Insel fällt.

Soll die Juliwärme gesucht werden, welche sich auf dieser Insel nach einer Abrückung vom Pole um 5° einstellen würde, so sind die beiden aufgezeigten Ermittlungswege in umgekehrter Richtung zu beschreiten. Der erstere führt dann nach Westen, wo man als von warmen Strömungen unbeeinflußte, aber durch die Nähe gletscherfreien Landes erhöhte Mittsommertemperatur über dem Eismeere in 65° Nordbreite am Nordeingange in die Hudsonsbay und in der Behringsstraße 8·0 antrifft. Der zweite führt gegen Nord, ist aber nicht gut gangbar, da er sich bald an das von der 2°-Juli-Isotherme umschlossene zirkumpolare Feld anlehnt, so daß sich da für die Wärmeänderung auf dem nordwärts vom 70. Parallel gelegenen Meridianbogenstücke kein befriedigender Ausdruck finden läßt. Versucht man es mit einer Gleichung von der Form $t = 2 - ad + ad^2$, in welcher d den vom 80. Parallel ab in Südrichtung in 5° Längen gezählten Breitenabstand bezeichnet, so ergibt sich, wenn man den zu $t = 3 \cdot 9$ und $d = 2$ gehörigen Wert von $a = 0 \cdot 95$ einsetzt, für $d = 3$ ein $t = 7 \cdot 7$, also ein dem auf die erste Art gefundenen sehr nahe kommender Wert. Auch hier bleibt der als berechtigt angenommenen Forderung entsprochen, daß das sich an die beobachteten Werte streng anlehnende Kurvenstück dreimal so lang als das zu ergänzende ist. Auf einer um 5° nach Süd verschobenen Wajgat-Insel würde also die reduzierte Juliwärme um 8° tiefer sein, als sie jetzt auf dem 5° südlich von dieser Insel gelegenen Punkte ist.

Um die großen Werte aufzuzeigen, welche — wie schon erwähnt — die in Rede stehende Temperaturdifferenz an den Rändern einer W—O streichenden Landbrücke erreichen kann, sei die Änderung der mittleren Jahreswärme am Schnittpunkte von $\varphi = 60°$ und $\lambda = 140°$ W. v. G. bei einer Polannäherung um 10° untersucht. Ein Ausblick auf die an der

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

Westküste von Norwegen am 70. Parallel vorhandene Jahreswärme führt hier nicht zum Ziele, da die thermischen Verhältnisse über der Golftrift mit jenen über der nordpazifischen Trift nicht näher vergleichbar sind. Auch der Versuch, die westwärts von Norwegen zwischen 60 und 70° stattfindende Temperaturabnahme an die jetzt an der Westküste von Nordamerika am 60. Breitenkreise herrschende Temperatur von 4·5° anzuschließen, fiele nicht befriedigend aus. Dagegen läßt sich hier die Extrapolationsmethode gut anwenden, da vom 60. bis zum 30. Parallel — entsprechend den in um 10° wachsenden Abständen herrschenden Temperaturen 9·0, 13·2 und 17·2 — die Wärmezunahme in einer einfachen Exponentiallinie erfolgt. Man erhält hier die Ausdrücke

$$t = -13{\cdot}0 + 34{\cdot}56\cos\varphi \text{ und } t = -1{\cdot}67 + 25{\cdot}29\cos^2\varphi,$$

welche beide die beobachteten Werte mit Fehlern von 0·1 bis 0·2 wiedergeben und für $\varphi = 70$ als Werte von t die Zahlen $-1{\cdot}2$ und $-1{\cdot}3$. Die jetzt am 140. Meridian W. v. G. in 70° Nordbreite herrschende mittlere Jahreswärme ist dagegen $-13{\cdot}4$.

Um die bei einer Südwärtswanderung des eben genannten Punktes um 10° auf diesem eintretende Jahrestemperatur zu finden, muß man auch zu einer Ergänzung greifen, die, obwohl hier das zu Grunde zu legende Kurvenstück nur zweimal so lang als das gesuchte ist, doch zu einem befriedigenden Ziele führt. Man erhält als einfachste, die beobachteten Temperaturen auf dem arktischen Bogen des 140. Meridians gut wiedergebende Formeln:

$$t = 88 - 108\sin\varphi \text{ und } t = 35{\cdot}43 - 55{\cdot}43\sin^2\varphi$$

und hieraus für $\varphi = 60°$ als t die Werte $-5{\cdot}5$ und $-6{\cdot}1$. Man findet also, daß an einer auf den 70. Parallel hinaufgerückten Südküste von Alaska die mittlere Jahrestemperatur um 12° höher wäre als jetzt an der Eismeerküste dieses Landes und daß an dieser, wenn sie sich auf den 60. Parallel hinab verschöbe, das Jahresmittel der Luftwärme um 10° tiefer wäre als jetzt an der pazifischen Küste neben dem Eliasberge.

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

Im Winter rückt die Zone der dicht gedrängten Isothermen im Nordwestzipfel von Nordamerika etwas nach Süd, so daß man da die höchsten Werte der hier untersuchten Temperaturdifferenz für einen Platztausch der am 65. und 55. Parallel gelegenen Punkte erhält. Es zeigt sich da am 140. Meridian südwärts vom 55. Parallel für je 10 Breitengrade ein linearer Temperaturzuwachs um 5° und dies ergibt bei einer auf den 70. Breitenkreis hinaufgerückten Südküste Alaskas als Jännertemperatur über dem Pazific in $\varphi = 65°$ und $\lambda = 140°$ W. v. G. den Wert $-1·6$, während jetzt auf diesem Punkte bei seiner Lage in der Mitte von Alaska eine (reduzierte) Januarkälte von $-27·6$ herrscht. Hier würde also der Unterschied zwischen der nach einer Breitenänderung um 10° sich einstellenden Temperatur und der jetzt in der nachmaligen Ortsbreite auf dem Ortsmeridian vorhandenen Temperatur den ungewöhnlich hohen Wert von 26·0 erreichen. Der Wärmeunterschied zwischen der gegebenen und verschobenen Ortsbreite, welcher in seiner palaeoklimatologischen Bedeutung an anderer Stelle von mir erörtert worden ist[1], schwillt hier zum Maximalwerte 31·0 an.

Den vorigen Beispielen könnte man wohl solche gegenüberstellen, in denen die hier untersuchte Temperaturdifferenz nur gering ausfällt; hier sollte aber gerade gezeigt werden, welch hohe Werte sie erreichen kann. Man wird gegebenen Falles beide im Vorigen aufgezählten Ermittlungsweisen dieser Differenz versuchen, da sich ihre Resultate gegenseitig kontrollieren, doch darf man nicht vergessen, daß auch Fehler gleich groß und von gleichem Vorzeichen sein können, so daß eine gute Übereinstimmung der auf beide Weisen gewonnenen Werte noch nicht in allen Fällen ihre Richtigkeit verbürgt.

Einer Verschmelzung beider Bestimmungsweisen würde es entsprechen, wenn man in der Breite des betrachteten Ortes bis zu einem Meridian vorginge, auf welchem jetzt im

[1] Die extremen thermischen Anomalien auf der Nordhemisphäre und ihre Bedeutung für die Frage der geologischen Polverschiebungen. Meteorolog. Zeitschr., 1909. Heft 10.

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

Intervalle zwischen dieser und der verschobenen Ortsbreite jene thermogeographischen Verhältnisse herrschen, die in diesem Bogenstücke nach der angenommenen Verschiebung auf dem Ortsmeridian bestünden, und die auf dem Vergleichsmeridian in diesem Bogenstücke stattfindende Wärmeänderung zur Ortstemperatur hinzuschlüge. Doch wäre dieses Mischverfahren weniger empfehlenswert, weil bei ihm die durch die Polverlagerung erzeugte Wärmeänderung in der ursprünglichen Position des Ortes unberücksichtigt bleibt. So würde man — um auf das Beispiel aus Nordasien zurückzukommen — auf den Meridianen von 110 bis 120° E. v. G., wo der sommerliche steile Temperaturabfall zur Eismeerküste erst nordwärts vom 70. Parallel beginnt, als Wärmeabnahme vom 65. bis 70. Parallel 3·3 finden und hieraus als reduzierte Juliwärme der jetzt am Schnittpunkte von $\varphi = 65°$ und $\lambda = 60°$ E. v. G. gelegenen Erdstelle nach ihrer Nordwärtsverschiebung um 5° den Wert 12·7 erhalten, d. i. um 0·9 bis 1·2 weniger als nach den früher erörterten Methoden. Es bliebe da der Umstand außer Rechnung, daß sich die Sommerisothermen in der Mitte eines breiten subarktischen Kontinents gegen Norden ausbiegen, daß im vorliegenden Falle bei einer Erstreckung des Landes bis zum 75. Parallel die Julitemperatur in 65° Breite um 1·0 höher ist als bei einer Landerstreckung bis zum 70. Parallel.

Während die Vergleichsmethode nur dazu verwertbar ist, für einen Ort ein Palaeoklima zu erklären, das zwar vom jetzigen sehr abweicht, aber doch auf anderen Meridianen in derselben Breite vorkommt, kann die Extrapolationsmethode auch zur Erklärung eines Palaeoklimas führen, das jenseits der extremsten, jetzt in der betreffenden Breite herrschenden Land- oder Seeklimate liegt.

Man könnte gegen die im Vorigen dargelegte Extrapolationsmethode einwenden, daß sie nicht einheitlich sei und daß sich ihre Reichweite allzu knapp bemessen zeige. Es wurden von Fall zu Fall teils gegen die Abszissenachse vorgewölbte, teils gegen sie eingebogene Wärmekurven, teils auch geradlinige Wärmegänge aufgestellt und sie konnten kaum über den gesuchten Wert hinaus Anspruch auf Gültigkeit

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

erheben. Obige Einwände wären aber nur berechtigt, wenn sich durch Abstellung der besagten Mängel das gesteckte Ziel besser erreichen ließe. Dies wäre aber nicht der Fall.

Jeder Versuch, die zonale Wärmeänderung in ihrer Abhängigkeit von der Jahreszeit und von den morphologischen Verhältnissen unter einem einheitlichen Gesichtspunkte durch Formeln darzustellen, würde für einen bestimmten Meridian stets nur ein minder getreues Abbild der Wirklichkeit ergeben können als eine Formel, die aus den auf diesem Meridiane selbst beobachteten Temperaturen abgeleitet wäre. Die Analyse thermogeographischer Verhältnisse soll und kann ja nie den Zweck verfolgen, die Beobachtungen zu verdrängen; sie sieht ihr Ziel in der Auffindung der den Erscheinungen zu Grunde liegenden Gesetze und im Gewinn von Zahlenwerten für solche Fälle, wo Beobachtungen nicht möglich sind. Aus ganz ähnlichen Ursachen kommt auch der zweite der genannten Einwände zu Falle. Der Wärmegang über einem ganzen Meridianquadranten oder über einem großen Teilstücke desselben stellt sich — von den südpazifischen Gefilden abgesehen — wohl stets als eine mehr oder minder unregelmäßige Bogenlinie dar. Eine solche kann, sofern man von einem unverhältnismäßig großen Rechnungsaufwand absieht und sich auf die Aufstellung einer weniggliedrigen Formel beschränkt, nur unvollkommen wiedergegeben werden.

Es würde also auch da ein Lösungsversuch auf breiterer Grundlage meist nur zu einem verminderten Gelingen desselben im Einzelfalle führen. Mit der Erreichung einer weiter ausgreifenden Ergänzungsmöglichkeit der Temperaturwerte tauschte man da nur eine Verringerung der Sicherheit der ergänzten Werte ein.

Erwähnt sei noch, daß scharfe Biegungen einer zonalen Wärmekurve auch zwischen zwei aufeinander folgende fünfte Parallelkreise fallen können und daß dann Extrapolationsformeln, welche auf Grund der auf solchen Parallelen herrschenden Wärmegrade entwickelt wurden, für die gesuchten Differenzen zu kleine Werte ergeben. Es seien beispielsweise die auf einem Meridiane in 5° Abständen polwärts folgenden Temperaturen: 16·0, 14·9, 13·2, 10·3 und 4·0 und man

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

frage nach jener Temperatur, die sich auf dem fünften dieser Schnittpunkte vorfände, wenn infolge einer Polverschiebung um 5° die morphologischen Bedingungen des jähen Temperaturabfalles im äquatorwärts von jenem Punkte liegenden 5° Bogen in dem polwärts von jenem Punkte folgenden 5° Bogen bestünden. Die Wärmeänderung vor dem Temperaturabfalle entspräche dann der Formel

$$t = 16 \cdot 0 - d - 0 \cdot 1\, d^3,$$

in welcher d den in 5° Längen ausgedrückten Breitenabstand vom Ausgangspunkte bedeutet, und für $d = 4$ bekäme man dann $t = 5 \cdot 6$. Es sei nun aber so, daß die Temperatur nur bis zur Breite von $d = 2^5/_6$ langsam sinke und dann geradlinig abfalle, so daß ihr Wert $10 \cdot 3$ auf $d = 3$ schon in den Anfangsteil dieses Abfalles zu liegen kommt. Dann folgt der Wärmeabstieg vor dem Steilabfalle dem Ausdrucke

$$t = 16 - 0 \cdot 8\, d - 0 \cdot 3\, d^2,$$

welcher für $d = 4$ den Wert $8 \cdot 0$, also eine um $2 \cdot 4$ höhere Temperatur als nach der vorigen Formel ergibt; — oder, um auch ein Beispiel für verlangsamte Wärmeabnahme zu bringen, es seien die Temperaturen $16 \cdot 0$, $12 \cdot 2$, $8 \cdot 8$, $5 \cdot 8$ und $0 \cdot 0$ gegeben. Hier bekäme man als Ausdruck für die Temperaturabnahme bis $d = 3$ die Formel

$$t = 16 - 4\, d + 0 \cdot 2\, d^2$$

und als aus ähnlichen Gründen wie im früheren Falle vorgenommene Ergänzung für $d = 4$ den Wert $3 \cdot 2$. Wenn aber die Knickung der Wärmekurve schon in $d = 2^6/_7$ erfolgte, so daß der Wert $5 \cdot 8$ auf $d = 3$ schon in den Anfangsteil eines raschen geradlinigen Wärmeabstieges fällt, so schmiegt sich die vorherige Temperaturabnahme dem Ausdrucke

$$t = 16 - 3 \cdot 86\, d + 0 \cdot 06\, d^3$$

an, welcher für $d = 4$ den Wert $4 \cdot 8$ ergibt, der den nach der vorigen Formel bestimmten um $1 \cdot 6$ übersteigt.

Das bisher Gesagte mag genügen, um die Behauptung zu begründen, daß die thermische Wirkung

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

einer Polverschiebung im allgemeinen weder nach dem mittleren Temperaturunterschiede noch nach der im Meridiane des betrachteten Ortes herrschenden Wärmedifferenz zwischen der gegebenen und verschobenen Ortsbreite zu beurteilen ist.

III. Bestimmung der Wärmeänderungen infolge der durch Verschiebung der Küstenlinien bedingten Umgestaltung des Erdbildes.

Die im vorigen entwickelten Verfahren, jene Wirkung festzustellen, sind aber nur eine rein geographische Lösung der Aufgabe. Bekanntlich würden vielgradige Polverschiebungen mit sehr bedeutenden Massenumlagerungen in der Erdkruste verknüpft sein; man hätte sie sich ja als Folgen solcher aus anderen Ursachen geschehender Vorgänge zu denken. Solche Umlagerungen müßten mit gewaltigen Faltenbildungen und Stauchungen in der Erdrinde einhergehen und diese müßten wieder in weitgehenden Strandverschiebungen ihren oberflächlichen Ausdruck finden.

Die Land- und Wasserverteilung auf der Erdoberfläche würde sonach bei einer Polverschiebung nicht nur mit Bezug auf das neue Koordinatennetz geändert, sondern überhaupt eine andere werden. Zur Beurteilung ihrer Umgestaltung aus geologischen Gründen fehlte aber jedweder Anhaltspunkt. Man kommt so zum Ergebnisse, daß die auf den ersten Blick so einfach scheinende, hier untersuchte Frage überhaupt gar keine bestimmte Beantwortung zuläßt. Zieht man, auf ein früheres Beispiel zurückgreifend, die Änderung der Sommerwärme in Betracht, welche auf einem Punkte an der Nordküste eines subpolaren Kontinents bei Abrückung vom Pole um 5° erfolgte, so ist die Annahme, daß der Punkt nun die an 5° südlicher gelegenen Eismeerküsten herrschende Sommerwärme empfinge, nur eine geographische Abstraktion. In Wirklichkeit könnten sich auf ihm ganz andere Temperaturen einstellen. Es könnte sein, daß die besagte Polverschiebung für den genannten Kontinent eine Meeresingression bedingte. In diesem Falle läge nun der Strand um mehr als 5° süd-

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

licher als vor der Polverschiebung und ein vordem auf ihr gestandener Ort käme nun bei einer Abrückung vom Pole um 5° noch mitten in das Meer zu liegen. Die Sommerwärme wäre auf ihm dann niedriger als an einer Nordküste in gleicher Breite. Es könnte aber auch sein, daß jene Polverschiebung für den erwähnten Kontinent eine weitere Emersion zur Folge hätte. Dann rückte der betrachtete Ort in das Land hinein und seine Sommerwärme wäre nun höher als die an einem Strande in gleicher Breite.

Die Menge der hier gegebenen Möglichkeiten schließt zwei bemerkenswerte Fälle ein; den Fall, daß sich eine positive Strandverschiebung und die Breitenänderung derart summieren, daß sich für den betrachteten Ort der Wärmezuwachs infolge der Polflucht und der (sommerliche) Wärmeverlust infolge der Landflucht restlos ausgleichen und daß so dem betrachteten Orte aus der Polverschiebung gar keine Wärmeänderung erwächst; dann den Fall, daß sich eine negative Strandverschiebung und die Breitenänderung gegenseitig aufheben, so daß sich die geographische und die geologische Komponente der durch die Polverlagerung erzeugten Wärmeänderung in der Art summieren, daß der betrachtete Ort nach der Polverschiebung jene Temperatur erhält, die auf seinem Meridiane in der nachmaligen Ortsbreite vor der Verschiebung herrschte.

Im letzteren Falle hat man dann als das Ergebnis des Zusammentreffens ganz besonderer Umstände jene thermische Wirkung vor sich, deren Eintritt als normale Folge einer Polverschiebung hier als völlig unzulässige Annahme erwiesen wurde. Es handelt sich da um ein an sommerliche Temperaturverhältnisse anknüpfendes Beispiel für jene Möglichkeit, auf die ich an der Hand eines dem winterlichen Isothermenbilde entlehnten Beispieles Bezug nahm, um die großen Fehlschlüsse aufzuzeigen, denen man sich aussetzt, wenn man auf Grund der aus der Beschaffenheit einer fossilen Flora gefolgerten Wärmeabweichung von der Gegenwart die Größe einer stattgehabten Polverlagerung schätzen will.

Die im vorigen so ausführlich und doch mit negativem Schlußerfolge untersuchte Frage ist nun allerdings gar nicht

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

diejenige, auf deren Beantwortung die Polverschiebungshypothese abzielt. Diese sucht die aus dem Habitus fossiler Floren erschlossenen Temperaturen zu erklären und dieses Ziel entspricht im Hinblick auf das zu seiner Erreichung angewandte Mittel einer Antworterteilung auf die Frage nach der thermischen Wirkung einer Polverschiebung, wenn die durch dieselbe bedingten Umrissänderungen der Festländer schon bekannt sind. Dieser Umstand läßt nun aber die so sehr eingehende Erörterung der vorigen Frage durchaus nicht als eine überflüssige Mühe erscheinen. Es entspricht nur einem in der Palaeoklimatologie stets einzuhaltenden Vorgange, bei Heranziehung eines Hilfsfaktors zur Erklärung der geologischen Klimate zunächst die Wirkungen festzustellen, die er auf das Klima der Jetztzeit hätte, und daraus Rückschlüsse auf die Vergangenheit zu ziehen. Auch im vorliegenden Falle müßte man die Gesichtspunkte, welche zu Temperaturbestimmungen für eine gegenüber der jetzigen in Bezug auf die Pollage geänderten Festlandsverteilung entwickelt wurden, auch zu Temperaturschätzungen für eine beliebige Land- und Meerverteilung heranziehen.

Die Annahme, daß sich das Problem der geologischen Polverschiebungen mit der Aufgabe deckt, die thermische Wirkung einer Pollageänderung bei Kenntnis der nach derselben gegebenen Land- und Wasserverteilung zu bestimmen, erscheint wegen der Unsicherheit der Erdbilder der Vorzeit aber auch nur in beschränktem Maße statthaft. Wenn da von mir palaeogeographische Rekonstruktionen wiederholt als Rechnungsgrundlagen benützt wurden, um für die morphogene Komponente geologischer Klimate Zahlenwerte zu erhalten, so waren diese Versuche als thermische Feststellungen für mögliche Fälle der Vergangenheit gedacht. Wenn aber der klimatische Einfluß eines hypothetischen Hilfsfaktors für einen Abschnitt der Vorzeit zu bestimmen ist, sollte man die dazugehörige Land- und Wasserverteilung als bekannten Klimafaktor in die Rechnung einstellen können. Da diese Forderung wegen der Unsicherheit der palaeogeographischen Forschungsresultate aber nur in geringem Maße erfüllt werden kann, sind die Aussichten für

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

eine erfolgreiche Heranziehung der Polverschiebungshypothese zur Lösung palaeoklimatischer Rätsel sehr ungünstige.

Geht man daran, den diesbezüglichen Sachverhalt für die einzelnen geologischen Perioden zu untersuchen, so stößt man da gleich am Beginne des sich weithin dehnenden Weges auf einen eigenartigen Umstand: Die Festlandsverteilung zur Diluvialzeit entsprach in ihren einem Nachweise zugänglichen wesentlichen Zügen schon der heutigen. Vertreter der Anschauung, daß die quartäre Eiszeit durch eine Polverschiebung zu erklären sei, müssen da entweder annehmen, daß sich die durch Umstellung der geographischen Koordinaten und die durch die Massenumlagerung bedingte Formveränderung der Küstenlinien überall kompensiert haben, oder einen Zusammenhang von Polverschiebungen und mit Umformungen der Festländer verbundenen Massenumsetzungen überhaupt leugnen. Ersteres wäre eine höchst gekünstelte Annahme, letzteres die Vertretung einer kaum zu rechtfertigenden Ansicht.

Sehr viel näher liegend ist es da anzunehmen, daß sich seit der Diluvialzeit die Pollage überhaupt nicht nennenswert geändert hat. Ihre stärkste Stütze findet diese Anschauung in dem völligen Fehlen von Anzeichen einer gewaltigen postglazialen Gebirgsaufrichtung, die als ein Ereignis von sehr jugendlichem Alter noch unvergleichlich auffälligere Spuren als die mitteltertiäre Faltung hinterlassen haben müßte — vorausgesetzt, daß ein großer Gebirgsbildungsprozeß von so kurzer Dauer denkbar wäre. Diese Voraussetzung ist aber gar nicht statthaft. Auch gegen die Möglichkeit, daß eine große Polverschiebung — als rein geomechanischer Vorgang und unabhängig von tektonischen Begleiterscheinungen betrachtet — in so kurzer Zeit erfolgen könnte, sind schwerste Bedenken zu erheben. Bezüglich der klimatologischen und meteorologischen Beweise für eine große Polverlagerung seit der Eiszeit habe ich andernorts gezeigt[1], daß sie zum Teile auf Verwechslungen von Ursache und Wirkung oder auf

[1] Sind Eiszeiten durch Polverschiebungen zu erklären? Verhandl. d. k. k. Geol. Reichsanstalt, 1909, Nr. 12.

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

Trugschlüssen beruhen und — soweit dies nicht der Fall ist — auch keineswegs überzeugend oder gar zwingend sind.

Wendet man den Blick auf das Tertiär zurück, so stehen da die Dinge für eine Erklärung der aus den hochnordischen Pflanzenfunden erschlossenen milderen Klimate durch eine Polverschiebung auch nicht günstig, obschon die gegenteilige Meinung sehr verbreitet war oder noch ist. Die palaeogeographischen Grundlagen reichen für eine solche Erklärung noch nicht aus.

Welch große Ungewißheit jüngst noch in betreff der Morphologie der tertiären Arktis herrschte, kam klar zu tage, als Semper trotz der von manchen Palaeogeographen angenommenen teilweisen Meeresbedeckung der tertiären Arktis den palaeobiologisch sehr bemerkenswerten Versuch machen konnte, das Rätsel der hochnordischen Tertiärfloren durch die Annahme zu lösen, daß diese Floren den klimatischen Daseinsbedingungen der jetzigen Pflanzenwelt Ostsibiriens angepaßt waren. Diese Annahme setzte eine die Entwicklung relativ hoher Sommertemperaturen ermöglichende vorwiegende Landbedeckung der Polarkappe voraus. Konnte Semper die Vermutung hegen, daß die Zeichnung einer teilweise meerbedeckten tertiären Arktis durch den Wunsch nach einer Erklärung der hochnordischen Tertiärfloren durch Warmwasserheizung mitbestimmt war und daß so auf eine Meeresingression hindeutende Erscheinungen höher und gegen eine solche sprechende Umstände niedriger bewertet wurden, als einer ganz unbefangenen Beurteilung entsprochen hätte, so dürften Freunde der Warmwasserheizungshypothese vielleicht der Meinung sein, daß Semper in die Gefahr kam, von einem völlig objektiven Urteil im entgegengesetzten Sinne abzuweichen.

Noch wichtiger als die Land- und Wasserverteilung innerhalb der Arktis sind für die Thermik eines in ihr gelegenen Punktes die geographischen Verhältnisse in der subarktischen Zone. Bezüglich deren Gestaltung in den einzelnen Abschnitten des Tertiärs herrscht aber auch noch große Unsicherheit. Nachdem die nordatlantische Landbrücke von Lapparent und Matthew abgebrochen worden war, sind

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

neuerdings Stimmen zu Gunsten ihrer Wiederherstellung laut geworden, so daß die Frage, wann und inwieweit das nordatlantische Becken in der Tertiärzeit offen oder geschlossen war, noch immer unentschieden ist. Solange dies so bleibt, läßt sich bei der für das Klima nordwärts von Europa ausschlaggebenden Bedeutung des Zutrittes der Golftrift über das Tertiärklima in diesem Teile der Arktis gar kein Urteil fällen.

Auch bezüglich der Verbindung des nordindischen Ozeans mit der Arktis herrscht noch Unklarheit. Während ein so breites westsibirisches Meer, wie es Koken, Arldt und Matthew für das ältere Tertiär annehmen, auf das Winterklima nordwärts von Westasien einen großen Einfluß ausgeübt hätte, mit dessen Abschätzung ich mich andernorts beschäftigt habe, würde eine so schmale Wasserstraße, wie sie Lapparent für das mittlere Eozän vermutet, nur eine schwache Aufbiegung der Winterisothermen in ihrer nördlichen Nachbarschaft veranlaßt haben. Die Temperaturen, welche an den Fundorten tertiärer Pflanzen im hohen Norden geherrscht haben könnten, wenn sich diese Orte zur Tertiärzeit in einem größeren Polabstande befunden hätten, entziehen sich aber schon deshalb jeder Schätzung, weil das Alter der besagten Pflanzen nicht genau bekannt ist und die Gestaltung der Subarktis im Verlaufe des Tertiärs mehrfachen Wechseln unterlag, so daß es zweifelhaft bleibt, welche von den für verschiedene Abschnitte des Tertiärs gegebenen Rekonstruktionen für die Temperaturbestimmung in Betracht zu kommen hätte.

Man darf sagen, daß selbst Neumayr's sonst in Klimafragen klarer Blick vorübergehend getrübt war, als er die erste Hälfte der Seite 514 im zweiten Bande seiner Erdgeschichte schrieb. Erstlich war es kein klimatologischer Gedankengang, angesichts der jetzigen Verlaufsweise der Isothermen im hohen Norden eine zum Verbreitungskreise der hochnordischen Tertiärfloren konzentrische Lage des tertiären Nordpoles für wahrscheinlicher und natürlicher zu halten als ihr Gegenteil, und dann war es nach dem hier Gesagten für hohe Breiten nicht zulässig, ganz ohne Rücksichtnahme auf die Land- und Meerverteilung thermische

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

Schlüsse aus einer Polverlagerung zu ziehen. Bei einer der heutigen ähnlichen Gestaltung des nearktischen und nordatlantischen Gebietes könnte Grinnelland durch eine Südwärtsverschiebung um 10° wohl die derzeit im Foxkanal nordwärts der Hudsons Bay vorhandenen Winter- und Sommertemperaturen erhalten. Bei dem Bestande einer breiten Landverbindung quer über den nördlichsten Atlantik und bei vorherrschender Landentwicklung nordwärts von Amerika würde aber Grinnelland bei einer Lage am 70. Parallel kaum einen weniger strengen Winter haben als jetzt. Man vergleiche da die Verhältnisse in Ostsibirien, soweit sie einen Vergleich gestatten. Im Sommer müßte es dann in Grinnelland aber auch nicht wärmer sein als bei einer Lage auf dem 80. Parallel, da auf einem flachen, nicht übergletscherten Polarkontinent der Mehrbetrag der atmosphärischen Absorption in größerer Polnähe durch den Überschuß an mathematischer Bestrahlung ziemlich ausgeglichen würde.

Spitzbergen würde beim Fortbestand der jetzigen Formverhältnisse des europäischen Nordmeeres nach einer Verdoppelung seines Polabstandes wohl das thermische Klima Nordnorwegens erhalten; beim Bestande einer nordatlantischen Landbrücke müßte dort aber nach einer Südwärtsverschiebung um 10° sogar noch ein kälteres Klima herrschen als jetzt.

Die morphogene Komponente läßt sich sonach für die arktischen Tertiärklimate noch viel zu wenig abschätzen, als daß man durch Annahme einer Polverschiebung zur Erklärung dieser Klimate wirksam beitragen könnte. Und doch handelt es sich da um einen Fall, wo sozusagen die Grundfeste der terrestrischen Klimate, die Lage und Bedeckungsart des Tropengürtels eine der jetzigen noch ähnliche war. Was soll man da aber zu den Versuchen sagen, Palaeoklimate durch Breitenänderungen zu erklären, bei welchen jene Grundfeste im vollen Sinne des Wortes auf den Kopf gestellt wäre, irgend zwei Antipodenpunkte des jetzigen Tropengürtels die Lage der Erdpole einnehmen würden! Mit der bloßen Annahme, daß sich beispielsweise die Gegend von Chanda im zentralen Dekan zur Dyaszeit in 70° Südbreite befunden hätte, ist für die Erklärung der dortigen Gletscher-

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

spuren noch so gut wie nichts erreicht. Da die Versetzung des Südpoles in den Indischen Ozean für die Antarktis die klimatischen Verhältnisse einer festlandumgürteten, meerbedeckten Polarkappe schüfe, sind zur Beurteilung des Klimas in der Randzone einer so gestalteten Antarktis die jetzt in 70° Nordbreite bestehenden Verhältnisse heranzuziehen. Es zeigt sich nur ein kleiner Teil der küstennahen festländischen Abschnitte dieses Breitenkreises mit Gletschereis bedeckt.

Der zur gedachten Lage von Chanda gehörige Tropengürtel der unteren Dyaszeit würde wohl eine größere Landbedeckung gehabt haben, als die jetzt zwischen den Wendekreisen eingeschlossene Zone, da der antarktische Kontinent der Jetztzeit, das mittlere Gondwanaland, und der palaearktische Kontinent des jüngeren Palaeozoikums in jenen Gürtel gefallen wären. Größere Landentwicklung in den Tropen würde auch das Klima in den hohen Breiten ändern. Man könnte zunächst eine Milderung der Winterkälte als Folge einer Abflachung der winterlichen Luftdruckmaxima über subarktischen Kontinenten erwarten, da wegen der rascheren Wärmeabnahme mit der Höhe über Land die Flächen gleichen Druckes über dem Äquator weniger gehoben würden. Freilich rückt im Indischen Ozean in den Sommern beider Hemisphären das Gebiet niedrigsten Luftdruckes im Meeresniveau (zwischen 45° N und S) weitab vom Gleicher in kontinentale Gebiete stärkster Erhitzung hinein. Als sicher darf man aber annehmen, daß ein Landzuwachs in den Tropen insofern zu einer Abkühlung der hohen Breiten führen müßte, als er die zur direkten und indirekten Erwärmung jener Breiten verfügbaren Mengen hocherwärmten Ozeanwassers mindern würde. Hiebei hängt das Maß, in welchem eine Warmwasserheizung der hohen Breiten stattfinden kann, allerdings auch von der Konfiguration der mittleren Breitenzonen ab. Es ist anzunehmen, daß die an die Namen Scoresby Sund, Tromsö und Ustjansk sich knüpfenden Klimabilder noch nicht die äußersten terrestrischen Umformungen des in 20° Polabstand gegebenen Solarklimas darstellen. Das Golfstromphänomen an sich dürfte als Wasserheizungsanlage allerdings kaum

from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biolog

übertroffen werden können; dagegen ließen sich Festlandsverteilungen ausdenken, bei denen die Golftrift eine weit geringere Vermischung mit Polarströmen erführe, so daß die Küste des nördlichsten Norwegen das Klima Westschottlands bekäme. Andrerseits könnte das Klima an der unteren Jana, wenn Ostsibirien in breiter Front mit Nordamerika zusammenhinge und sich noch weiter gegen den Pol erstrecken würde, noch exzessiver werden. Wie will man da bei der Dürftigkeit unserer Kenntnis vom Erdbilde der älteren Dyaszeit den Schluß ziehen, daß der zentrale Dekan, wenn er sich zu jener Zeit in 20° Polabstand befunden hätte, vergletschert gewesen sein müßte! Die Frage nach den thermischen Wirkungen großer Breitenwechsel infolge von Erdkrustendrehungen über den Erdkern läßt sich noch weniger beantworten als die Frage nach den Wärmeänderungen infolge von Verlagerungen der Erdachse. Die Annahme großer Krustenwanderungen ist kein brauchbares Hilfsmittel zur Erklärung geologischer Klimate, da sich die thermischen Wirkungen dieses Mittels auch nicht annähernd schätzen lassen. Erwähnt sei noch, daß bei jener Projektion der geographischen Koordinaten, welche den Südpol der Dyaszeit genau in die Mitte zwischen den drei damaligen Vereisungszentren setzt, die Gegend von Chanda nur auf den 50. Parallel zu liegen kommt.

Die bisherigen Betrachtungen betrafen ausschließlich die Wärmewechsel, welche sich bei einer Polverschiebung für die auf dem Meridian derselben liegenden Punkte ergeben. Die Frage, wie jene Änderungen des thermischen Klimas zu bestimmen sind, welche den außerhalb jenes Meridianes gelegenen Punkten erwachsen, soll Gegenstand einer späteren Untersuchung sein.